

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ АКТИВНОГО И ОПОРНОГО ПРОВОДНИКОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕДАЧИ И ОТРАЖЕНИЯ УСТРОЙСТВА ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

С. А. Тернов, А. В. Демаков, М. Е. Комнатнов

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40  
E-mail: stanislav.1995@mail.ru*

Выполнено исследование влияния ширины активного и опорного проводников полосковой линии, предназначенной для испытания на электромагнитную совместимость. Представлены результаты в виде зависимости изменения ширины активного от изменения опорного проводников. Выполнен электродинамический анализ четырех конструкций полосковой линии, в диапазоне частот до 3 ГГц. Показано, что при увеличении ширины активного проводника на 32 мм, затухание ЭМП увеличивается более чем в 2 раза.

Совершенствование различных конструкций для проведения испытаний на помехоустойчивость радиоэлектронных средств (РЭС) остается одной из актуальных задач в области электромагнитной совместимости (ЭМС). Одним из устройств для проведения подобных испытаний является полосковая линия (ПЛ), предназначенная для воздействия узкополосной электромагнитной помехи на электронные компоненты транспортных средств [1, 2]. Устройство представляет собой несимметричную ПЛ и состоит из двух металлических пластин, между которыми возбуждается электромагнитное поле сигналом от генератора. В связи с ростом рабочих частот и увеличением плотности монтажа электронных компонентов актуально совершенствование конструкции ПЛ. Усовершенствование ПЛ связано с увеличением верхней рабочей частоты и объема под испытываемый объект (ИО), а также уменьшением неравномерности распространения электромагнитного поля (ЭМП). Так например, для измерения излучаемых эмиссий от интегральных схем сотового телефона, создана ПЛ с высотой ИО 6 мм, и модулем коэффициента отражения  $|S_{11}|$  не превышающим минус 20 дБ в диапазоне частот до 3 ГГц [3]. Также для измерения эффективности экранирования материалов создана ПЛ с высотой ИО до 40 мм при  $|S_{11}| \leq -5$  дБ в диапазоне частот до 18 ГГц [4]. Основные параметры ПЛ зависят от волнового сопротивления  $Z_B$ , которое может быть вычислено согласно [1, 2] как

$$Z_B = \frac{120 \cdot \pi}{\frac{w}{h} + 2,42 - 0,44 \cdot \frac{h}{w} + (1 - \frac{h}{w})^6}, \quad (1)$$

где  $w$ , мм – ширина и  $h$ , мм – высота активного проводника над опорным проводником.

Выражение (1) справедливо для бесконечных размеров опорного проводника и бесконечно тонкого активного проводника, что при создании реальной конструкции устройства некорректно, однако может быть применимо на стадии приближенного вычисления. Также из [5] известны выражения, позволяющие вычислить волновое сопротивление с наименьшей погрешностью и учётом толщины  $t$  активного проводника. Выражения получены путем введения нормированного отношения  $t/h$  в выражения с нулевой толщиной активного проводника [6]. При этом в большинстве работ не упоминается о геометрических размерах опорного проводника, от которого зависит конструкция и параметры ПЛ.

Цель работы – исследовать влияние ширины активного и опорного проводников полосковой линии при равном волновом сопротивлении и длине линии.

Используя выражение (1) вычислена ширина активного проводника  $w=297$  мм (рис. 1, *а*), при  $h = 60$  мм и  $Z_B = 50$  Ом. В программе TALGAT [7] построено поперечное сечение ПЛ с учетом толщины активного проводника  $t = 1$  мм при бесконечных размерах опорного проводника (высота  $h$  не изменялась). При помощи квазистатического анализа вычислена ширина  $w$  активного проводника, которая составила 292,8 мм. Для полученных параметров модель была дополнена опорным проводником (рис. 1, *б*) и вычислена его ширина  $W = 672,8$  мм при неизменных параметрах ( $w, t, h, Z_B$ ). Выполнено изменение ширины активного  $w$  и опорного  $W$  проводников при неизменных параметрах  $t, h$  и  $Z_B$  (рис. 1, *в*).

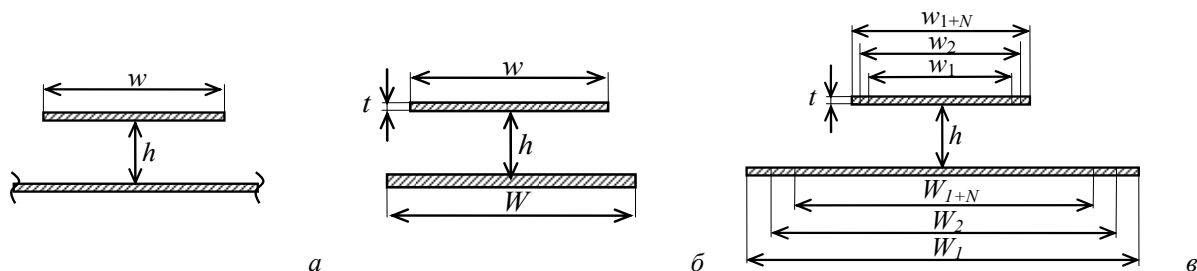


Рис. 1. Поперечное сечение несимметричной ПЛ: с бесконечными (*а*) и конечными (*б*) размерами опорного проводника, с изменением ширины активного ( $w$ ) и опорного ( $W$ ) проводников (*в*)

Получена зависимость изменения ширины активного ( $w$ ) проводника изменения ширины опорного проводника ( $W$ ) (рис. 2).

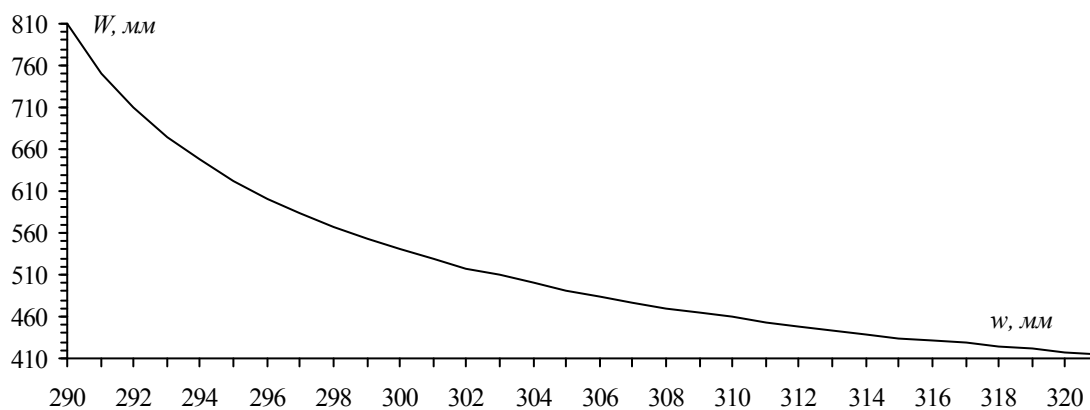


Рис. 2. Зависимость изменения ширины активного проводника при изменении ширины опорного проводника, при  $t = 1$  мм и  $h = 60$  мм

Из рис. 2 видно, что при уменьшении ширины активного проводника на 2 мм до 290,8 мм, ширина опорного проводника возрастает до 809,8 мм, тогда как при увеличении ширины активного проводника на 2 мм (294,8 мм) ширина опорного проводника уменьшается до значения 620,8 мм. Таким образом, при незначительном (4 мм) изменении ширины активного проводника, ширина опорного проводника изменяется более чем в 2,5 раза. Построены модели согласно (табл. 1) четырех ПЛ (2, 3, 4, 6) в программе CST MWS.

Получены частотные зависимости модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  (рис. 3) и коэффициента передачи  $|S_{21}|$  (рис. 4) в диапазоне частот до 3 ГГц.

Таблица 1  
Геометрические параметры ПЛ, при  $Z_B=50$  Ом

	$w$ , мм	$W$ , мм
1	289,8	809,8
2	292,8	674,8
3	305,8	484
4	315,8	431
5	320,8	414,6
6	325,8	401

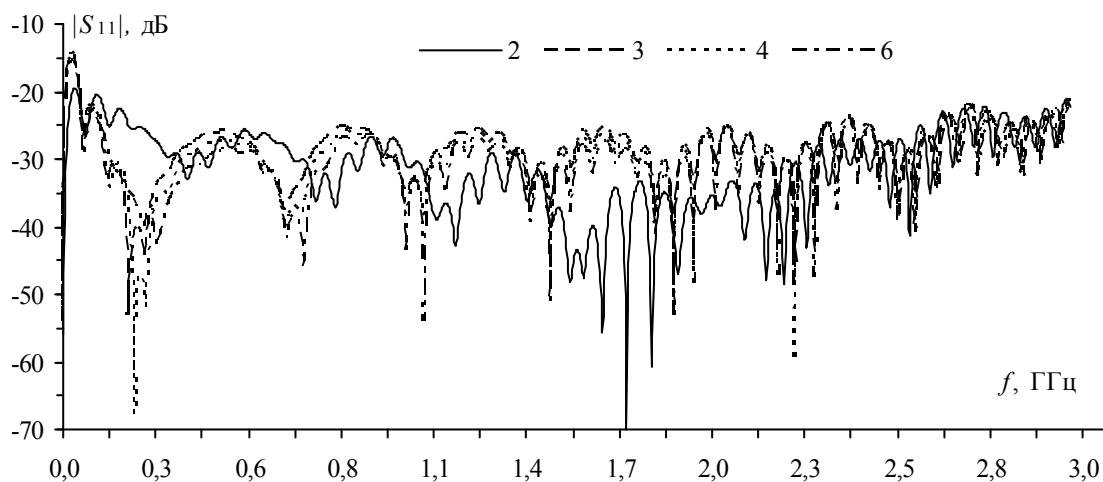


Рис. 3. Частотная зависимость  $|S_{11}|$  четырех конструкций ПЛ

Из рис. 3 видно, что для конструкции 2 частотная зависимость  $|S_{11}|$  не превышает минус 20 дБ в диапазоне частот до 3 ГГц. При этом максимальные значения для всех остальных конструкций не превышает минус 20 дБ, в диапазоне частот от 0,3 ГГц до 3 ГГц.

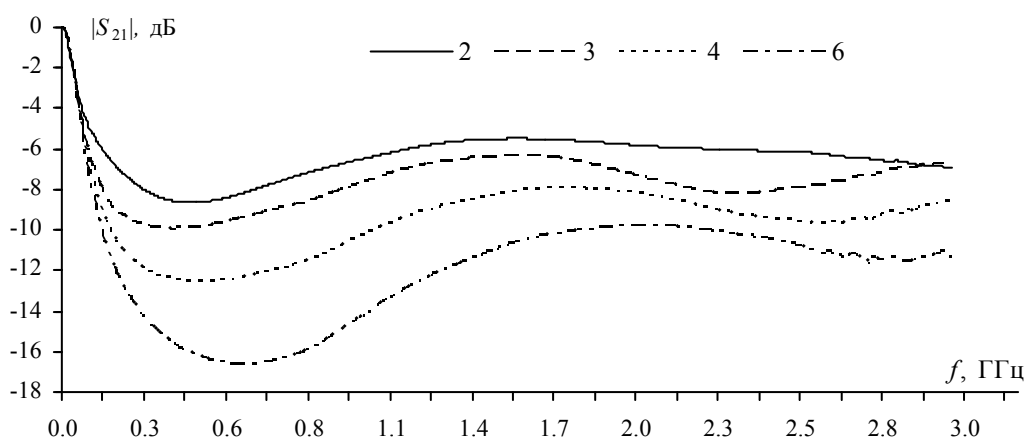


Рис. 4. Частотная зависимость  $|S_{21}|$  для четырех конструкций ПЛ

Из рис. 4 видно, что затухание ЭМП в конструкции 2 минимально и не превышает 8,7 дБ, при этом для конструкции 6 затухание увеличилось примерно в два раза.

Таким образом, выполнено исследование зависимости ширины активного и опорного проводников по результатам которого результаты которого могут быть применены при разработке ПЛ для испытаний на ЭМС.

## Список литературы

1. ISO 11452-5:2002, Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances from narrow-band radiated electromagnetic energy. Part 5: Stripline.
2. ГОСТ ИСО 11452-5:2007. Методы испытаний компонентов на устойчивость к воздействию узкополосного излучения электромагнитной энергии. Ч. 5: Полосковая линия передачи.
3. Kim J., Park H.-H. A Novel IC-Stripline Design for Near-Field Shielding Measurement of On-Board Metallic Cans // 2017 IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat. (EMC). Dec. 16, 2016. P. 710–716.
4. A new stripline measuring setup for the characterization of conductive gaskets up to 18 GHz / J. Catrysse, V. Filip, D. Pissort, C. Brull // 2010 IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat. (EMC). July 25–30, 2010. Fort Lauderdale, Florida. P. 165–170.
5. Bahl I.J., Garg R. Simple and accurate formulas for a microstrip with finite strip thickness // Proc. IEEE. 1977. Vol. 65. Is. 11. P. 1611–1612.
6. Hammerstad E.O. Equations for microstrip circuit design // in Proc. European Microwave Conf., Sep. 1–4, 1975. Hamburg, Germany. P. 268–272.
7. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Докл. Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. 2015. № 2 (36). С. 45–50.